

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Hsieh (2002) melakukan penelitian pada performa dan emisi gas buang mesin bensin menggunakan campuran bahan bakar bensin dan *ethanol* dengan kemurnian 99,9%. Campuran bahan bakar yang divariasikan yaitu dengan kadar *volume ethanol* 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan meningkatnya campuran kadar *ethanol* maka nilai oktan bahan bakar akan meningkat sehingga nilai torsi dan konsumsi bahan bakar juga mengalami peningkatan. Seiring dengan bertambahnya kadar *ethanol* pada campuran bahan bakar maka dapat menurunkan emisi gas buang CO dan HC, sedangkan kadar emisi CO₂ mengalami peningkatan karena proses pembakaran yang lebih baik.

Iriyanto (2008) menganalisa performa dan emisi sepeda motor 4 langkah 1 silinder *fuel injection* 125cc terhadap variasi campuran pertamax-*ethanol* (E10-E30) dengan kemurnian *ethanol* 99% dan variasi putaran 3500-7000 RPM interval 500 RPM. Hasil penelitian menunjukkan dengan semakin bertambahnya *ethanol* maka emisi CO dan HC mengalami penurunan dibandingkan dengan pertamax. Untuk kandungan CO₂ dan O₂ semakin ditambahkannya *ethanol* maka akan semakin meningkatkan CO₂ dan O₂.

Fauzi (2015) meneliti pengaruh *bioethanol* terhadap emisi gas buang pada sepeda motor 4 tak satu silinder dengan bahan bakar premium. Variasi penambahan kadar *volume bioethanol* sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *bioethanol* dapat menurunkan kadar CO dan meningkatkan kadar CO₂ seiring dengan naiknya putaran mesin. Sedangkan untuk kadar emisi HC, penambahan *bioethanol* paling efektif adalah E20 karena menghasilkan nilai emisi HC terendah diantara semua variasi penambahan *bioethanol* dan putaran mesin.

Elfasakhany (2016) melakukan penelitian performa dan emisi dengan menggunakan bahan bakar campuran aseton (C₃H₅OH) dan bensin pada mesin bensin dengan memvariasikan kadar *volume* campuran aseton yaitu 0%, 3%, 7%, 10%. Hasilnya didapatkan bahwa dengan penambahan aseton pada bensin dapat meningkatkan torsi, daya, dan efisiensi dari mesin. Untuk emisi gas buang dari CO dan HC mengalami penurunan seiring meningkatnya putaran mesin, sedangkan kadar CO₂ semakin meningkat.

2.2 Mesin Kalor

Arismunandar (1983) mendefinisikan mesin kalor sebagai salah satu dari beberapa jenis penggerak mula yang sering digunakan. Mesin kalor adalah mesin yang mengubah energi termal dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja berupa energi mekanik. Berdasarkan cara memperoleh energi termal, mesin kalor bisa diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu mesin pembakaran luar (*external combustion engine*) dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*).

Proses pembakaran *external combustion engine* terjadi di luar mesin. Contoh dari *external combustion engine* adalah turbin uap. Proses pembakaran menghasilkan energi termal yang disalurkan ke fluida kerja mesin dengan menggunakan komponen lain. Gas dari hasil pembakaran diproses dengan menaikkan temperatur sehingga menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian dikirim ke fluida kerja untuk menghasilkan daya atau kerja.

Sedangkan mesin pembakaran dalam biasa dikenal dengan nama motor bakar torak. Disebut mesin pembakaran dalam karena proses pembakaran terjadi dalam mesin itu sendiri dan hasil pembakaran digunakan secara langsung untuk menghasilkan daya. Motor bakar torak adalah mesin kalor yang merubah energi kimia dari proses pembakaran udara-bahan bakar menjadi energi mekanis berupa kerja. Proses pembakaran menghasilkan peningkatan tekanan dan temperatur dalam silinder. Kemudian torak terdorong melakukan gerak translasi karena proses ekspansi yang ada dalam silinder. Gerak translasi dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi dari poros engkol (*crankshaft*) dan begitu juga sebaliknya (Kristanto, 2015).

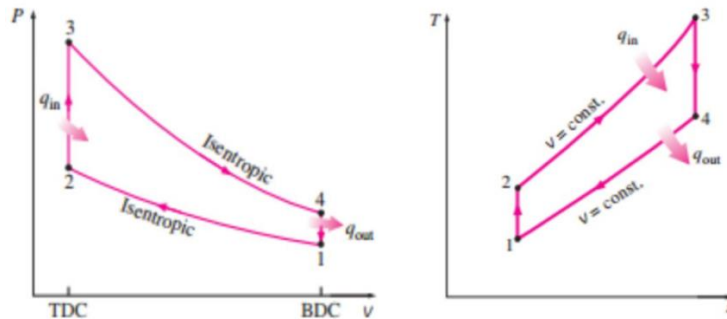
2.2.1 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar torak berdasarkan sistem penyalannya dapat dibedakan menjadi dua jenis utama yaitu motor bensin (*otto*) dan motor diesel. Pada motor bensin disebut sebagai motor pengapian percik (*spark ignition engines*) karena bahan bakar dinyalakan oleh loncatan bunga api listrik dari busi. Sedangkan pada motor diesel terjadi proses penyalan sendiri karena bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder yang berisikan udara bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat kompresi, sehingga motor diesel sering disebut motor penyalan kompresi (*compression ignition engines*) (Kristanto, 2015).

2.2.2 Siklus Motor Bakar Otto

Siklus otto digambarkan dengan empat buah proses non alir (*non-flow process*) dimana proses kompresi dan ekspansi bersifat adiabatik (tidak ada proses panas yang

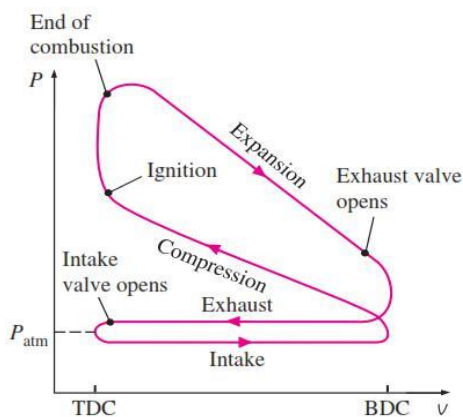
masuk ataupun keluar sistem) dan *reversible* atau isentropik (Satibi, Purnawan, Nafizah, 2015). Siklus udara volume-konstan (siklus otto) dapat digambarkan dengan grafik P-v dan T-s seperti pada gambar 2.1. Keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Siklus ideal otto

Sumber : Cengel & Boles (2004,p.494)

- (1-2) Langkah kompresi/proses isentropik.
- (2-3) Proses pembakaran/pemasukkan kalor pada volume konstan (isokhorik).
- (3-4) Langkah kerja/ekspansi isentropik.
- (4-1) Proses pembuangan/pelepasan kalor pada volume konstan (isokhorik).



Gambar 2.2 Siklus aktual otto

Sumber : Cengel & Boles (2004,p.494)

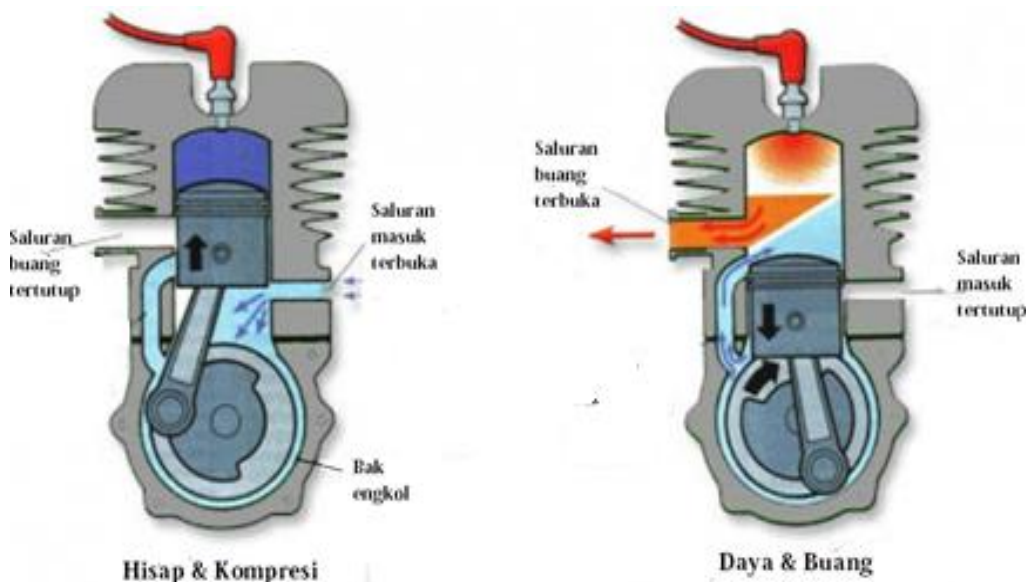
Pada gambar 2.2 dijelaskan bahwa siklus aktual otto dimulai dari langkah hisap dimana katup hisap terbuka dan piston bergerak dari *Top Dead Center* (TDC) ke *Bottom Dead Center* (BDC). Kemudian piston bergerak kembali dari BDC ke TDC untuk melakukan langkah kompresi. Diakhir langkah kompresi busi dipercikkan untuk menghasilkan proses pembakaran dan menyebabkan piston terdorong ke BDC untuk melakukan langkah ekspansi/kerja. Setelah langkah ekspansi/kerja, katup buang terbuka dan gas sisa hasil pembakaran terdorong keluar melalui katup buang.

2.3 Siklus Operasi Motor Bakar

Philip Kristanto (2015) mengklasifikasikan siklus operasi dari motor pembakaran dalam menjadi motor dua langkah dan motor empat langkah.

2.3.1 Motor Dua Langkah

Motor dua langkah menghasilkan kerja pada setiap putaran poros engkol, yang artinya hanya dibutuhkan putaran *crankshaft* sebanyak satu kali untuk menyelesaikan satu siklus. Motor dua langkah mengganti katup dengan menggunakan lubang saluran di dinding silinder. Gerakan naik turun dari torak itulah yang akan membuka dan menutup lubang saluran di dinding silinder sebagai pengganti katup (Kristanto, 2015). Gambar 2.3 menunjukkan prinsip kerja dari motor dua langkah.

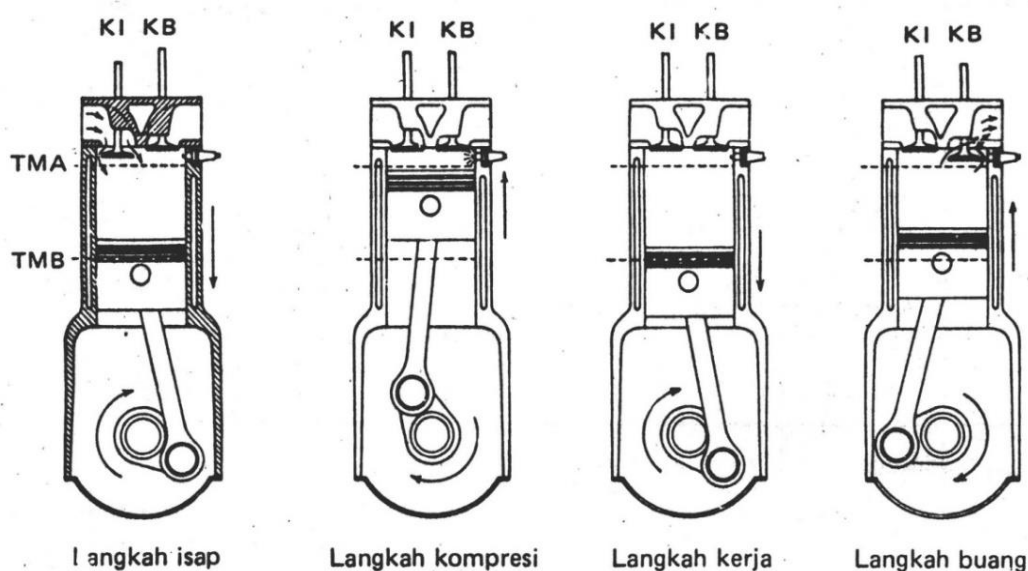


Gambar 2.3 Prinsip kerja motor 2-langkah
Sumber : Kristanto (2015,p.10)

1. Hisap & kompresi. Torak bergerak ke titik mati atas (TMA) dan saluran masuk terbuka sehingga udara terhisap masuk dan bercampur dengan bahan bakar. Pergerakan dari torak ke TMA menyebabkan campuran udara-bahan bakar termampatkan di dalam ruang bakar.
2. Daya & buang. Sebelum torak mencapai TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar sehingga menyebabkan terjadinya proses pembakaran dan torak terdorong ke titik mati bawah (TMB) untuk melakukan langkah daya. Pada saat mendekati akhir langkah dari piston, saluran buang terbuka dan gas sisa pembakaran terbuang keluar.

2.3.2 Motor Empat Langkah

Motor empat langkah dalam satu siklusnya membutuhkan dua kali putaran *crankshaft* di dalam silinder. Motor otto empat langkah melakukan proses pencampuran bahan bakar dan udara pada saat langkah isap. Berbeda dengan motor diesel yang pencampurannya terjadi pada saat akhir langkah pemampatan (Arends & Berenschot, 1994). Prinsip kerja motor empat langkah ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip kerja motor 4-langkah

Sumber : Arismunandar (1983,p.8)

1. Langkah hisap. Torak bergerak dari TMA ke TMB, katup isap (KI) terbuka dan katup buang (KB) tertutup sehingga campuran udara-bahan bakar terhisap ke dalam silinder.
2. Langkah kompresi. Torak bergerak dari TMB ke TMA dan kedua katup tertutup, campuran udara-bahan bakar dalam silinder diperkecil volumenya dan dimampatkan sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur di silinder naik.
3. Langkah kerja atau ekspansi. Sebelum torak mencapai TMA pada langkah kompresi, pada motor bensin busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran yang menyebabkan tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan mendorong torak ke TMB untuk melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi.
4. Langkah buang. Torak bergerak dari TMB ke TMA dengan KI tertutup dan KB terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terbuang keluar sistem oleh torak saat bergerak ke TMA.

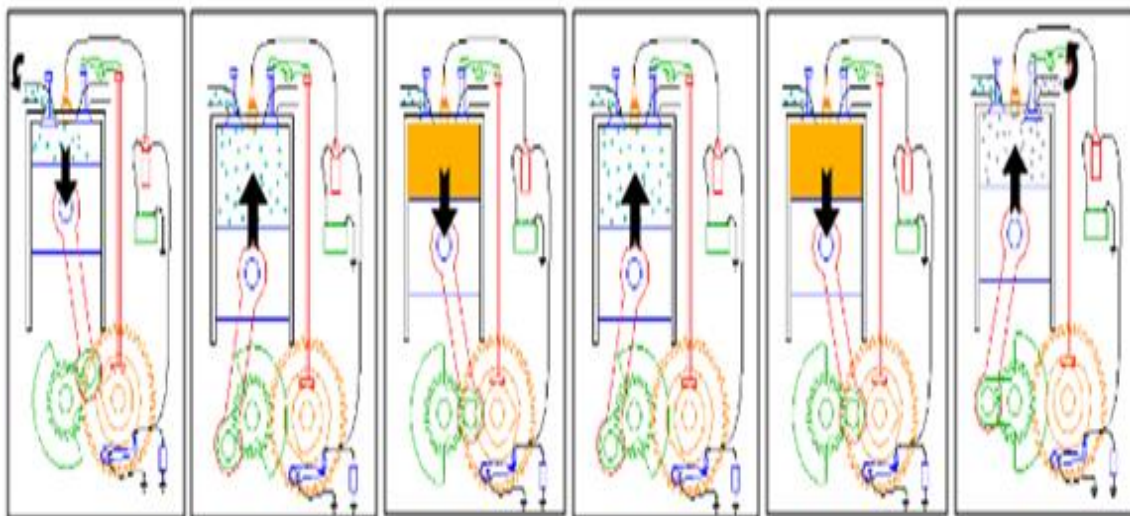
2.4 Motor Bakar 6 Langkah dengan Tiga Kali Pengapian

Eko Siswanto *et al* (2016) telah mengembangkan konsep motor bakar 6 langkah dengan tiga kali pengapian. Motor 6 langkah merupakan pengembangan dari motor 4 langkah yang ada dengan menambahkan dua langkah dari motor 4 langkah. Dua langkah yang dimaksud adalah langkah kompresi kedua dan langkah ekspansi kedua. Jadi dalam satu siklus kerja terdapat dua kali kompresi dan dua kali kerja/ekspansi. Dengan ditambahkannya dua langkah ini bertujuan untuk membakar kembali sisa campuran udara dan bahan bakar dari pembakaran pertama sehingga diharapkan campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar sempurna.

Tiga kali pengapian yang dimaksud adalah dalam satu siklus busi dipercikkan sebanyak tiga kali. Atau dengan kata lain setiap torak/piston bergerak menuju TMA maka terjadi proses pemercikkan busi/pengapian. Tiga kali pengapian itu terjadi pada langkah kompresi 1, langkah kompresi 2, dan langkah buang. Sedangkan tujuan dari dipercikkannya busi/pengapian pada langkah buang adalah untuk mengurangi emisi dari gas buang motor bakar 6 langkah.

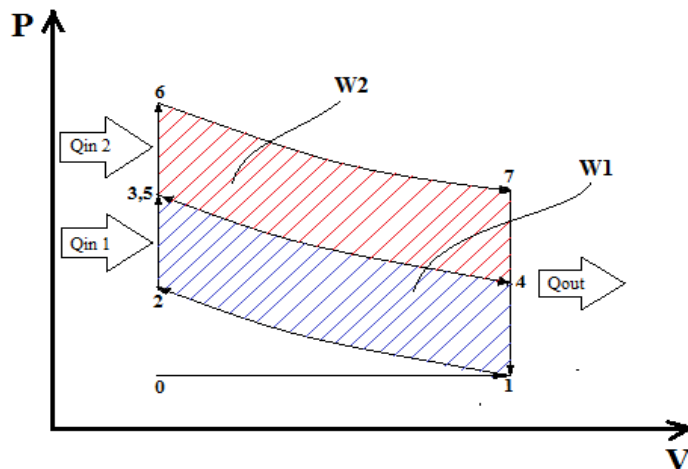
Proses dari siklus motor bakar 6 langkah ini adalah sebagai berikut:

1. Langkah Hisap
2. Langkah Kompresi I
3. Langkah Ekspansi I
4. Langkah Kompresi II
5. Langkah Ekspansi II
6. Langkah Buang



Gambar 2.5 Skema siklus motor otto 6 langkah 3 kali pengapian

2.4.1 Prediksi P-V Diagram Siklus Otto Ideal Motor Bakar 6 Langkah 3 Kali Pengapian



Gambar 2.6 Prediksi P-V diagram siklus otto ideal motor bakar 6 langkah

Pada kondisi ideal semua campuran udara-bahan bakar dianggap telah terbakar habis, sehingga pada motor bakar 6 langkah 3 kali pengapian didapatkan langkah siklus sebagai berikut:

1. (0-1) = Langkah hisap (isobarik)
2. (1-2) = Langkah kompresi 1 (adiabatik)
 - (2-3) = Penambahan kalor I/Qin 1 (isokhorik)
3. (3-4) = Langkah ekspansi 1 (adiabatik)
4. (4-5) = Langkah kompresi 2 (adiabatik)
 - (5-6) = Penambahan kalor 2/Qin 2 (isokhorik)
5. (6-7) = Langkah ekspansi 2 (adiabatik)
 - (7-1) = Pelepasan kalor/Qout (isokhorik)
6. (1-0) = Langkah buang (isobarik)

Sedangkan untuk luas usaha dari diagram P-V ideal pada motor bakar 6 langkah 3 kali pengapian yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas usaha ideal : } W_{\text{net}} &= W_1 + W_2 \\ &= 1 - 2 - 6 - 7 \text{ (bidang)} \end{aligned}$$

2.5 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem bahan bakar memiliki fungsi untuk mengolah campuran udara-bahan bakar lalu mengkabutkan campuran tersebut untuk dikirim ke ruang bakar. Ada dua macam cara pemasukan campuran bahan bakar dan udara. Pertama adalah sistem bahan bakar

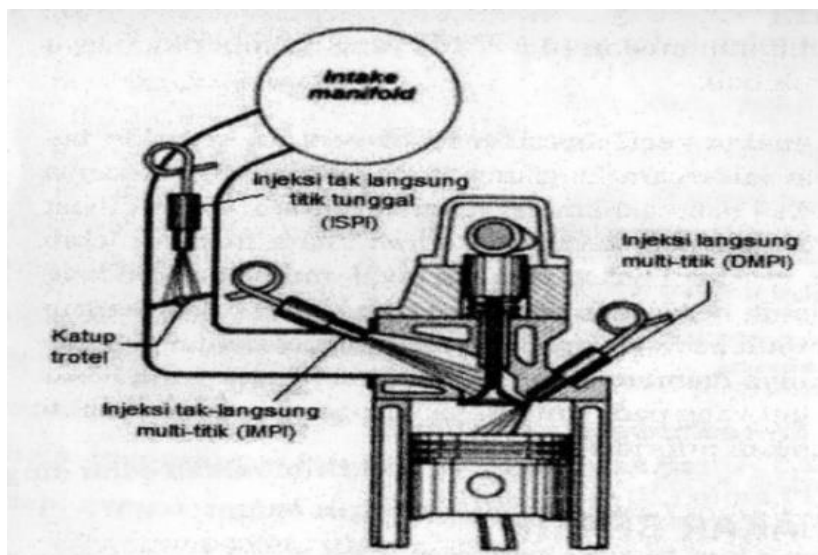
konvensional, yaitu dengan cara menghisap bahan bakar. Yang kedua adalah sistem injeksi, dengan menginjeksikan bahan bakar. Sistem injeksi terbagi menjadi sistem injeksi bahan bakar mekanik dan sistem injeksi bahan bakar secara elektronik atau sering disebut EFI (*Electronic Fuel Injection*).

2.5.1 Klasifikasi Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi bahan bakar dikelompokkan berdasarkan lokasi injektornya, yaitu sistem injeksi langsung dan injeksi tak langsung. Sistem injeksi langsung multititik (*Direct Multi Point Injection*, DMPI) adalah bahan bakar langsung diinjeksikan ke ruang bakar mesin. Pengaplikasian sistem ini pada sistem injeksi diesel.

Pada bensin juga telah diaplikasikan sistem injeksi langsung yaitu sistem injeksi langsung bensin (*Gasoline Direct Injection*, GDI). Kebanyakan sistem injeksi bensin adalah menggunakan sistem injeksi tak langsung yaitu bahan bakar diinjeksikan ke manifold hisap mesin (Kristanto, 2015). Sistem injeksi tak langsung diklasifikasikan lagi menjadi 2 sistem, yaitu:

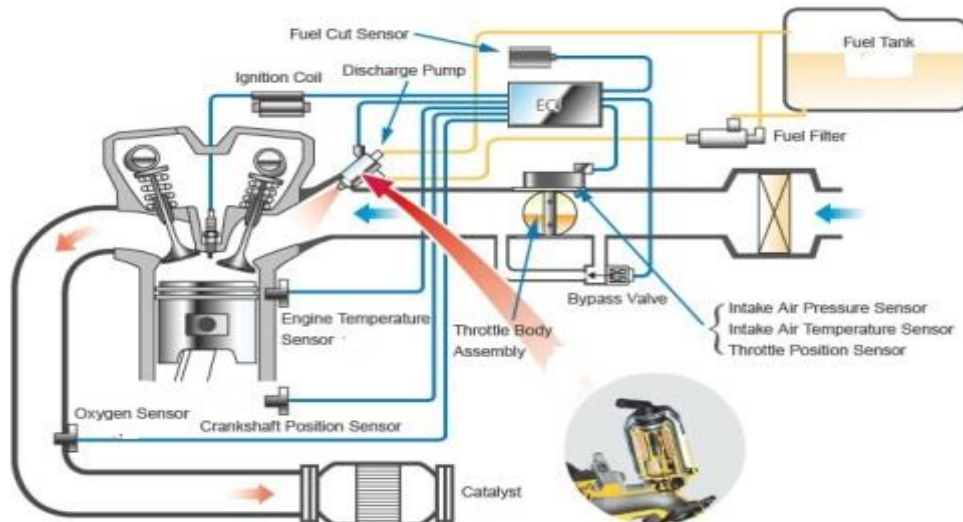
1. Injeksi tak langsung titik tunggal (*Indirect Single Point Injection*, ISPI), atau injeksi trotel bodi (*Throttle Body Injection*, TBI). Pada sistem ini lokasi injektornya dipasang di atas katup trotel atau sebelum saluran isap.
2. Injeksi tak langsung multititik (*Indirect Multi Point Injection*, IMPI) atau injeksi lubang (*Port Injection*). Lokasi injektor pada sistem ini terpasang diatas lubang isap di silinder.



Gambar 2.7 Klasifikasi sistem injeksi bahan bakar
Sumber : Kristanto (1983,p.134)

2.6 Injeksi Bahan Bakar Elektronik

Injeksi bahan bakar elektronik (*Electronic Fuel Injection*, EFI) merupakan sistem elektronik yang bahan bakarnya diinjeksikan ke dalam mesin. Sistem ini dikendalikan oleh *Engine Control Module* (ECM) atau *Engine Control Unit* (ECU) yang berbentuk *chip* dan tersusun atas *microprocessor* serta memori (Kristanto, 2015).



Gambar 2.8 Sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*)

Sumber : Buntarto (2015,p.45)

2.6.1 Sistem Kendali Elektronik

Pusat pengontrol sistem EFI terletak pada komputer yang dikenal dengan unit kendali motor (*Engine Control Unit*, ECU). ECU mengontrol sistem kinerja motor dengan bantuan beberapa sensor untuk mengatur injeksi bahan bakar yang sesuai. ECU tersusun dari rangkaian terintegrasi (*Integrated Circuit*, IC), dioda, hambatan dan kapasitor yang dirangkai membentuk komputer kecil. Sistem kendali ini menerima *output* dari sensor dan mengaplikasikannya untuk menentukan kuantitas injeksi bahan bakar, timing pengapian, dan parameter kinerja lainnya (Kristanto, 2015).

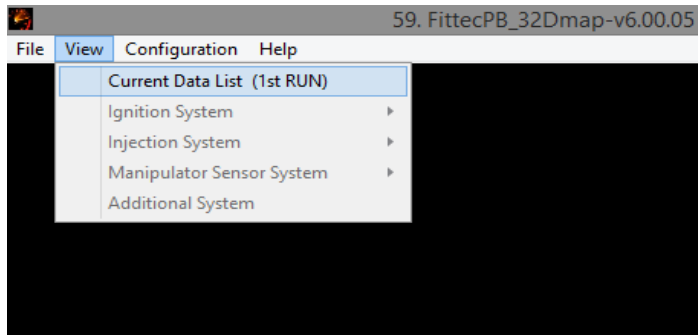


Gambar 2.9 Engine control unit

Sumber : Kristanto (2015,p.142)

2.7 Software FittecPB_32Dmap-v6.00.05

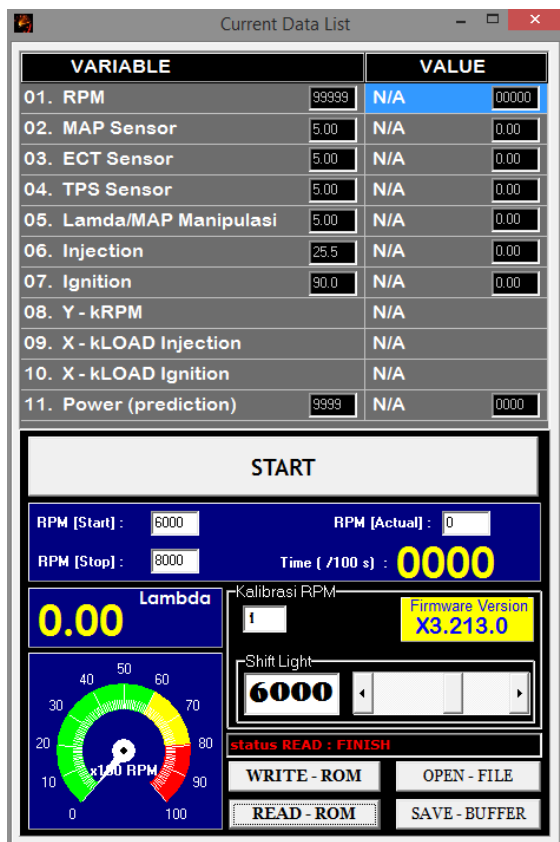
Software FittecPB_32Dmap-v6.00.05 merupakan software injeksi motor yang memudahkan setting motor injeksi melalui laptop. Software ini dihubungkan dengan ECU (Engine Control Unit) dan beberapa sensor di dalamnya sehingga dapat mengetahui nilai dari beberapa variabel seperti RPM, ignition, power, dll.



Gambar 2.10 Main menu FittecPB_32Dmap-v6.00.05

Software FittecPB_32Dmap-v6.00.05 hanya menggunakan menu bar “view” yang berupa :

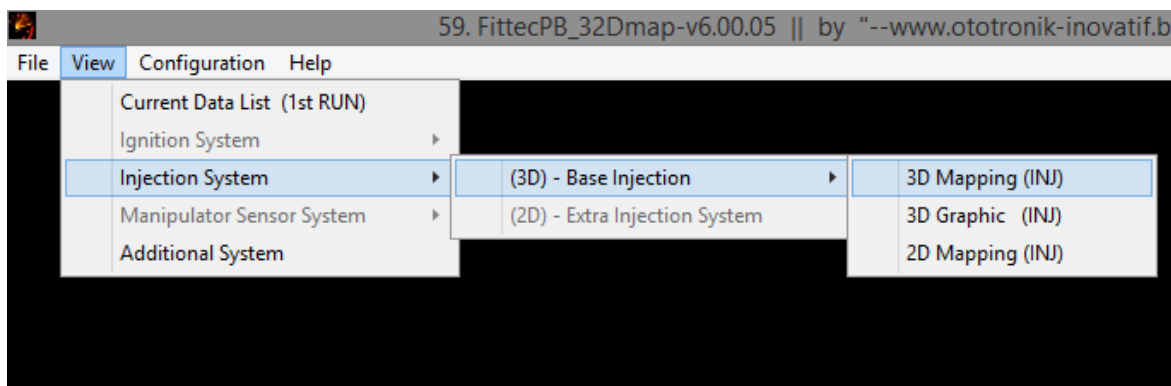
1. Current Data List (1st Run).



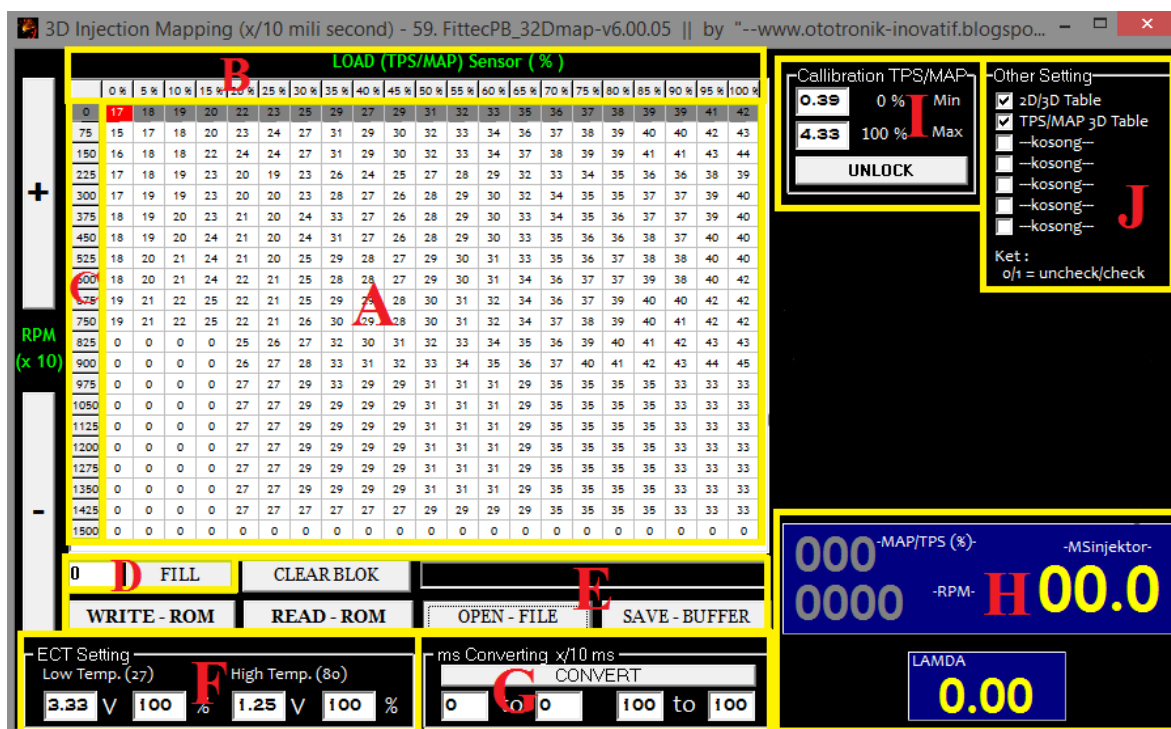
Gambar 2.11 Current data list (1st run)

2. Injection System

Pada menu *injection system*, yang akan digunakan adalah 3D-base *injection* kemudian 3D Mapping (INJ) yang berfungsi menunjukkan indikator dari sistem injeksi.



Gambar 2.12 Injection System



Gambar 2.13 3D Injection Mapping

Keterangan:

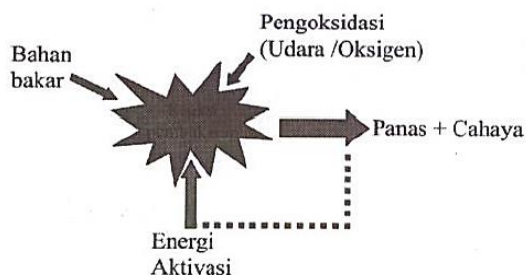
- Bagian A adalah nilai durasi injeksi dari injektor.
- Bagian B adalah nilai *load* (*Throttle Position Sensor*/MAP) dimulai dari 0%-100%.
- Bagian C adalah indikator putaran RPM, dimulai dari 0-1500 x 10.
- Bagian D adalah bagian untuk mengisi nilai dari durasi injeksi. Tandai pada bagian A, kemudian masukkan nilai durasi injeksi yang diinginkan pada kolom *FILL* lalu klik *FILL* sesudah mengisi nilai pengapian.

- Bagian E terdiri dari:
 - a. *CLEARBLOK*, berfungsi untuk menghapus kolom pada bagian A.
 - b. *WRITE-ROM* berfungsi untuk memasukkan settingan yang telah diinput pada *3DInjectionMapping* ke dalam *EEPROM*.
 - c. *READ-ROM* berfungsi untuk membaca isi *EEPROM*.
 - d. *SAVE-BUFFER* berfungsi untuk menyimpan settingan pada *3DInjectionMapping* dalam bentuk file format (.3DM).
 - e. *OPEN-FILE* berfungsi untuk membuka file.
- Bagian F adalah kalibrasi nilai tegangan sensor ECT ketika kondisi dingin dan kondisi panas.
- Bagian G adalah bagian untuk mengganti nilai durasi injeksi yang telah dipilih pada bagian A dan ditambahkan dengan nilai yang telah ditulis pada kolom *IGTConverting*.
- Bagian H adalah tampilan aktual nilai derajat pengapian, dan nilai RPM, namun lamda tidak digunakan.
- Bagian I adalah kalibrasi sensor TPS/MAP
- Bagian J tidak digunakan.

2.8 Teori Pembakaran dan Bahan Bakar

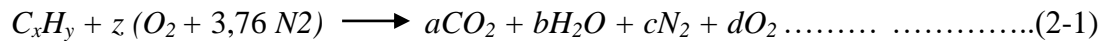
Pembakaran adalah reaksi kimia dimana bahan bakar bergabung dengan oksigen dari atmosfer dan melepaskan sejumlah kalor yang menyebabkan peningkatan temperatur. Pada proses pembakaran, oksigen adalah suatu komponen dari udara yang sangat mudah bereaksi terhadap sesuatu (Kristanto, 2015).

Syarat utama dari suatu reaksi pembakaran adalah adanya bahan bakar, oksidator dan energi aktivasi. Tanpa adanya salah satu dari komponen tersebut maka kemungkinan proses pembakaran tidak dapat terjadi (Satibi *et al.*, 2013). Energi aktivasi disini bisa berupa panas ataupun energi, dimana memiliki fungsi sebagai komponen pengaktif molekul dari bahan bakar (Wardana, 2008).

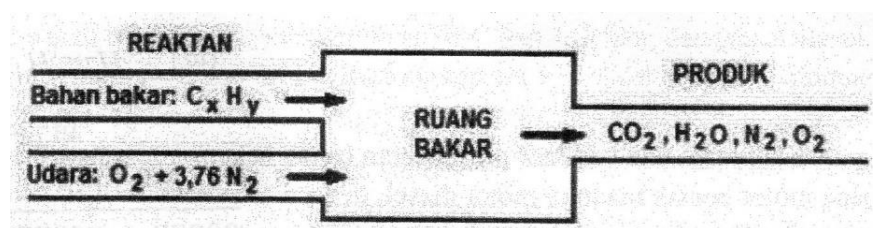


Gambar 2.14 Ilustrasi proses pembakaran
Sumber : Wardana (2008,p.3)

Pada proses pembakaran sempurna atau pembakaran stoikiometri, semua karbon menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan semua hidrogen membentuk air (H_2O) pada produk pembakaran. Setiap mol oksigen membutuhkan penambahan 3,76 mol nitrogen untuk mengoksidasi hidrogen (Kristanto, 2015), sehingga persamaannya dituliskan sebagai berikut:



Dimana z adalah koefisien stoikiometri untuk oksidator (udara). Lima variabel (z , a , b , c , d) nilainya digunakan untuk menyetimbangkan jumlah atom antara reaktan dan produk. Pada pembakaran stoikiometri, diasumsikan tidak ada oksigen yang tersisa dalam produk sehingga nilai $d = 0$.



Gambar 2.15 Proses pembakaran sempurna
Sumber : Kristanto (2015,p.62)

2.8.1 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air-Fuel Ratio, AFR*)

Air-fuel ratio (AFR) adalah ukuran standar jumlah udara yang digunakan dalam proses pembakaran, dimana merupakan perbandingan nilai dari jumlah massa dari udara dan bahan bakar. AFR dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{AFR} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{N_{ud}.M_{ud}}{N_{bb}.M_{bb}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana:

N = Jumlah molekul

M = Berat molekul

2.8.2 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar (*Equivalence Ratio, Φ*)

Equivalence ratio (Φ) merupakan perbandingan dari rasio AFR teoritis/stoikiometri terhadap AFR aktualnya, dirumuskan sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{(\text{AFR})_{\text{stoikiometri}}}{(\text{AFR})_{\text{aktual}}} \dots\dots\dots (2-3)$$

Nilai *equivalence ratio* (Φ) menunjukkan kandungan campuran dari udara dan bahan bakar. Bila $\Phi > 1$, maka termasuk campuran kaya dimana lebih banyak kandungan bahan bakar dibanding udara. Jika $\Phi < 1$, maka termasuk campuran miskin dimana kandungan

bahan bakar lebih sedikit dibanding udara. Sedangkan jika $\Phi = 1$ maka dikatakan campuran stoikiometri atau campuran udara-bahan bakar yang ideal.

2.8.3 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar Relatif (*Excess Air*, λ)

Excess Air (λ) merupakan kebalikan dari *equivalence ratio* (Φ), dimana menyatakan perbandingan jumlah udara yang disediakan terhadap jumlah udara yang dibutuhkan secara teoritis (stoikiometri). Nilai *excess air* (λ) dirumuskan dengan:

$$\lambda = \Phi^{-1} = \frac{(AFR)_{\text{aktual}}}{(AFR)_{\text{stoikiometri}}} \dots\dots\dots(2-4)$$

2.8.4 Gasoline

Gasoline merupakan cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi (*crude oil*) dan digunakan sebagai bahan bakar motor pembakaran dalam. Dalam motor bakar, energi kimia yang dikandung *gasoline* diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran (oksidasi) dengan udara.

Gasoline memiliki rumus kimia C_nH_{2n+2} yang tersusun dari hidrokarbon rantai lurus dengan diawali dari C_7 sampai dengan C_{11} . *Gasoline* membentuk rantai yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon yang saling terikat satu sama lain. *Gasoline* mengandung molekul hidrokarbon dengan panjang rantai atom-atom karbon yang berbeda.

Pertamax ($C_{10}H_{24}$) \gg C = 10, H = 24

Perbandingan massa unsur:

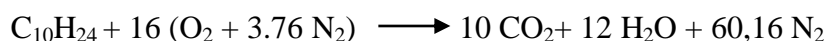
$$\begin{aligned} C : H &= (10 \times \text{Ar C}) : (24 \times \text{Ar H}) \\ &= (10 \times 12) : (24 \times 1) \\ &= 120 : 24 \end{aligned}$$

Presentase massa dari masing-masing unsur:

$$\text{Kadar C} = \frac{120}{144} \times 100 = 83,33 \%$$

$$\text{Kadar H} = \frac{24}{144} \times 100 = 16,67 \%$$

Sehingga reaksi pembakaran sempurna dari bahan bakar pertamax adalah sebagai berikut:



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar pertamax diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara} M_{udara}}{N_{bahan\ bakar} M_{bahan\ bakar}} \\
 &= \frac{16(16 \times 2) + 16(3.76(14 \times 2))}{1((12 \times 10) + (1 \times 24))} \\
 &= 15.253 \text{ kg udara / kg bb}
 \end{aligned}$$

2.8.5 Ethanol

Ethanol atau *etil alcohol* (C_2H_5OH) merupakan salah satu jenis bahan bakar alternatif yang terbarukan (*renewable*). *Ethanol* dapat diproduksi dengan dua cara baik secara hidrasi etilena maupun secara biologis dengan fermentasi produk pertanian. *Ethanol* yang diproduksi secara hidrasi etilena didapat dengan memproses campuran uap dan etilen pada suhu dan tekanan tinggi. *Ethanol* jenis ini dikenal sebagai *ethanol* sintetis dan digunakan untuk bahan baku industri. Sedangkan *ethanol* yang diproduksi secara biologis (*bioethanol*) didapat dari proses fermentasi dari biji-bijian dan gula. *Ethanol* ini banyak digunakan sebagai campuran minuman beralkohol dan juga bahan bakar. *Ethanol* berbeda dengan *gasoline*, dimana *ethanol* merupakan *oxygenated fuel* yang mengandung 35% oksigen dalam setiap senyawanya dan dapat mereduksi emisi gas buang (Demirbas, 2005).

Ethanol memiliki bau yang sangat khas sehingga mudah dikenali. Nyala warna dari *ethanol* berwarna biru dan sifatnya mudah terbakar. Berat dari molekul *ethanol* sebesar 46,07 dan memiliki nilai pembakaran atas (*High Heating Value*, HHV) 30.610 kJ/kg. Titik nyala *ethanol* adalah $76,67^\circ C$ dan titik didihnya $78,3^\circ C$. *Ethanol* mempunyai keuntungan dan kerugian untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Keuntungan dari *ethanol* yaitu dapat mengurangi emisi gas buang dan mudah bercampur dengan senyawa organik seperti air. Sedangkan kerugiannya adalah sifat dari *ethanol* yang korosif (Wardana, 2008).

Untuk mendapatkan rumus empiris dan reaksi pembakaran dari *ethanol* (C_2H_5OH) adalah diawali dengan menghitung presentase massa, berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \%C &= \frac{0.99 Ar\ C\ (C_2H_6O)}{0.99 Mr\ (C_2H_6O) + 0.01 Mr\ (H_2O)} \times 100 \\
 &= \frac{0.99 \times 24}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100 \\
 &= 51.97\%
 \end{aligned}$$

$$\%H = \frac{0.99Ar\ H\ (C_2H_6O) + 0.01Ar\ H\ (H_2O)}{0.99\ Mr\ (C_2H_6O) + 0.01\ Mr\ (H_2O)} \times 100$$

$$= \frac{(0.99 \times 6) + (0.01 \times 2)}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100$$

$$= 13.04\%$$

$$\%O = \frac{0.99Ar\ O\ (C_2H_6O) + 0.01Ar\ O\ (H_2O)}{0.99\ Mr\ (C_2H_6O) + 0.01\ Mr\ (H_2O)} \times 100$$

$$= \frac{(0.99 \times 16) + (0.01 \times 16)}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100$$

$$= 35\%$$

Untuk mengetahui jumlah mol dari masing-masing unsur adalah sebagai berikut:

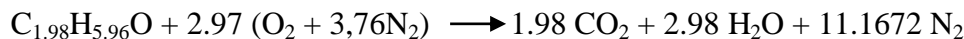
$$\frac{\%massa\ C}{Ar\ C} : \frac{\%massa\ H}{Ar\ H} : \frac{\%massa\ O}{Ar\ O}$$

$$= \frac{51.97}{12} : \frac{13.04}{1} : \frac{35}{16}$$

$$= 4.33 : 13.04 : 2.1875$$

$$= 1.98 : 5.96 : 1$$

Dari perhitungan diatas didapatkan rumus empiris dari *ethanol* yaitu $C_{1.98}H_{5.96}O$. Sehingga reaksi pembakaran sempurna pada *ethanol* ditunjukkan pada reaksi di bawah ini:



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar *ethanol* diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara}M_{udara}}{N_{bahan\ bakar}M_{bahan\ bakar}} \\ &= \frac{2.97(16 \times 2) + 2.97(3.76(14 \times 2))}{1((12 \times 1.98) + (1 \times 5.96) + (16 \times 1))} \\ &= 8.917\ \text{kg udara} / \text{kg bb} \end{aligned}$$

2.8.6 Gasoline-ethanol (Gasohol)

Gasohol merupakan campuran antara *gasoline* dengan *ethanol*. Simbol dari campuran *gasohol* ditandai dengan “E”. Kebanyakan penambahan kadar *ethanol* ini digunakan untuk meningkatkan nilai oktan dari bahan bakar sehingga dapat menghindari gejala detonasi (*knocking*) dan meningkatkan performa mesin.

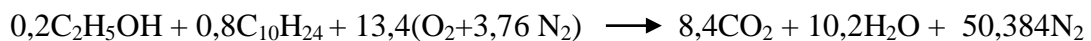
- Reaksi pembakaran sempurna untuk E10



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar *gasohol* E10 diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara}M_{udara}}{N_{bahan bakar}M_{bahan bakar}} \\ &= \frac{14.7(16x2) + 14.7(3.76(14x2))}{0.1((12x2) + (1x6) + (16x1)) + 0.9((12x10) + (1x24))} \\ &= 15.037 \text{ kg udara / kg bb} \end{aligned}$$

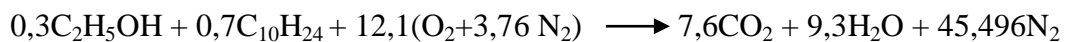
- Reaksi pembakaran sempurna untuk E20



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar *gasohol* E20 diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara}M_{udara}}{N_{bahan bakar}M_{bahan bakar}} \\ &= \frac{13.4(16x2) + 13.4(3.76(14x2))}{0.2((12x2) + (1x6) + (16x1)) + 0.8((12x10) + (1x24))} \\ &= 14.787 \text{ kg udara / kg bb} \end{aligned}$$

- Reaksi pembakaran sempurna untuk E30



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar *gasohol* E30 diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara}M_{udara}}{N_{bahan bakar}M_{bahan bakar}} \\ &= \frac{12.1(16x2) + 12.1(3.76(14x2))}{0.3((12x2) + (1x6) + (16x1)) + 0.7((12x10) + (1x24))} \\ &= 14.494 \text{ kg udara / kg bb} \end{aligned}$$

2.9 Emisi Gas Buang

Di setiap negara memiliki standar penetapan untuk emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang berbeda-beda parameter dan nilainya. Negara Indonesia sendiri memiliki ketetapan terkait dengan pengendalian emisi kendaraan bermotor yang telah diatur dalam peraturan perundang-undangan mengenai lingkungan hidup. Menteri Negara Lingkungan Hidup telah memutuskan dalam Kep. No. 35/MENLH/10/1993 tentang ketetapan ambang

batas gas buang kendaraan bermotor kandungan CO dan HC dan juga peraturan no. 05 tahun 2006 tentang batas emisi kendaraan bermotor.

Tabel 2.1

Batas Emisi Kendaraan Bermotor Menurut Kepmen LH No. 5 Tahun 2006

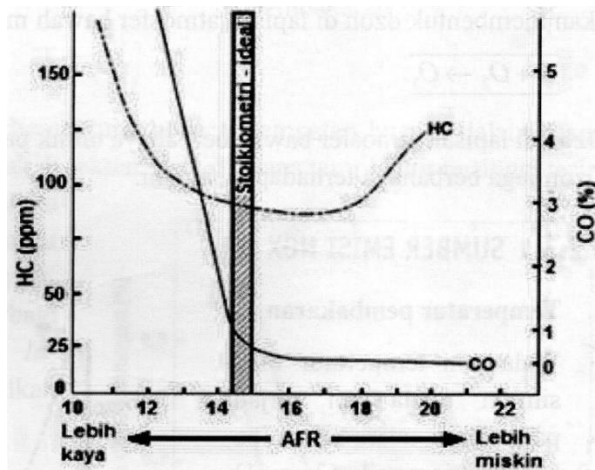
Kategori Kendaraan	Tahun Pembuatan	Parameter Kadar Emisi	
		CO (%)	HC (ppm)
Sepeda motor 2 langkah (L)	< 2010	4.5	12000
Sepeda motor 4 langkah (L)	< 2010	4.5	2400
Sepeda motor 2 langkah & 4 langkah (L)	> 2010	4.5	2000
Motor bakar cetus api/bensin (M, N, O)	< 2007	4.5	1200
	> 2007	1.5	200

Sumber : Arifin & Sukoco (2009,p.54)

Keterangan :

- Kendaraan kategori L : kendaraan beroda kurang dari empat.
- Kendaraan kategori M : kendaraan beroda empat/mobil penumpang.
- Kendaraan kategori N : kendaraan angkutan barang.
- Kendaraan kategori O : kendaraan penarik untuk gandengan/tempel.

Gas buang umumnya tersusun oleh gas yang tidak beracun seperti N_2 (nitrogen), CO_2 (Karbon dioksida), dan H_2O (Uap Air) tetapi terdapat juga gas yang beracun seperti NO_x , HC, dan CO yang menyebabkan pencemaran udara dan berbahaya bagi manusia. Pengujian emisi kendaraan bermotor menunjukkan data bahwa gas buang terdiri dari 72% N_2 , 18.1% CO_2 , 8.2% H_2O , 1.2% gas argon (gas mulia), 1.1% O_2 dan 1.1% gas beracun yang terdiri dari 0.13% NO_x , 0.09% HC dan 0.9% CO (Arifin & Sukoco, 2009). Rasio udara-bahan (AFR) bakar berpengaruh terhadap efisiensi proses pembakaran.



Gambar 2.16 Grafik AFR terhadap kandungan emisi CO dan HC
Sumber : Kristanto (2015,p.201)

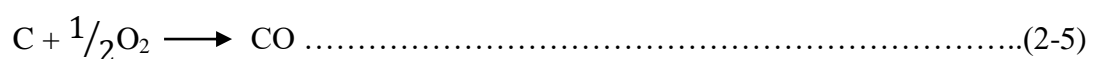
2.9.1 Hidrokarbon (HC)

Gas buang yang dihasilkan motor bensin memiliki kandungan hidrokarbon sebesar 6000 ppm dan setara dengan 1-1,5% bahan bakar, dimana 40% diantaranya merupakan bensin yang tidak terbakar (Kristanto, 2015). Dari gambar 2.16 ditunjukkan emisi gas HC terendah saat AFR sedikit lebih tinggi dibanding stoikiometri ideal. Sedangkan saat campuran terlalu kaya atau terlalu miskin maka emisi HC akan mengalami peningkatan.

Pada campuran kaya, jumlah hidrogen dan karbon tidak sama dengan jumlah oksigen sehingga tidak dapat bereaksi secara sempurna dan menghasilkan HC pada gas buang. Saat terlalu miskin, campuran tidak dapat terbakar karena disebabkan kegagalan pembakaran. Kegagalan pembakaran juga bisa dipengaruhi karena rendahnya temperatur udara yang masuk ruang bakar sehingga proses campuran udara-bahan bakar menjadi lemah (Arifin & Sukoco, 2009). Dampak dari adanya hidrokarbon di lingkungan adalah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam dan bisa menimbulkan penyakit kanker.

2.9.2 Karbonmonoksida (CO)

Karbonmonoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah larut dalam air (Arifin & Sukoco, 2009). Gas karbonmonoksida merupakan gas beracun yang berbahaya bagi tubuh manusia. Apabila CO masuk ke tubuh maka bisa bereaksi dengan hemoglobin (Hb) dalam darah dan menjadi karboksihemoglobin (COHb). Dengan masuknya CO dalam darah menyebabkan kemampuan darah sebagai pentransfer oksigen akan menurun.



Emisi CO pada motor bakar dipengaruhi oleh rasio udara-bahan bakar (AFR). Ketika oksigen (O_2) tidak tercukupi untuk mengubah karbon (C) menjadi karbondioksida (CO_2), maka terjadi proses pembakaran tidak sempurna yang menyebabkan beberapa bahan bakar tidak terbakar dan menghasilkan CO pada pembuangan (Kristanto, 2015).

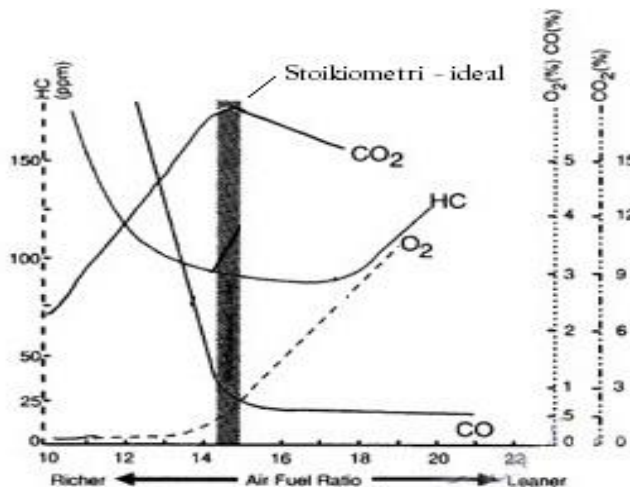
Kandungan CO tertinggi terdapat pada saat campuran kaya (gambar 2.16). Namun pada saat campuran udara-bahan bakar berada pada kondisi ideal/stoikiometri ataupun miskin, beberapa CO masih terkandung pada gas buang.

2.9.3 Karbondioksida (CO_2)

Karbondioksida dihasilkan dari karbon yang teroksidasi secara sempurna dan merupakan hasil pembakaran yang ingin dicapai dalam suatu reaksi pembakaran. Reaksi dari terbentuknya karbondioksida adalah sebagai berikut:



Semakin besar CO_2 yang dihasilkan maka menunjukkan bahwa performa motor lebih efisien. Faktor yang menyebabkan rendahnya CO_2 yang dihasilkan adalah karena ketidakseimbangan rasio udara-bahan bakar (AFR). Nilai CO_2 yang tertinggi terdapat pada (AFR) ideal (stoikiometri) seperti yang ditunjukkan gambar 2.17.



Gambar 2.17 Grafik AFR terhadap 4 gas produk pembakaran
Sumber : Kristanto (2015,p.204)

2.9.4 Oksigen (O_2)

Nilai oksigen (O_2) berbanding terbalik dengan nilai karbonmonoksida (CO). Semakin tinggi O_2 yang dihasilkan oleh gas buang, maka semakin rendah CO yang dihasilkan dan semakin miskin campuran udara-bahan bakar.

2.10 Gas Analyzer

Gas analyzer adalah suatu alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur komposisi gas dan menganalisa gas sisa dari proses pembakaran. *Gas analyzer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stargas analyzer*. *Stargas analyzer* mampu mengukur kadar CO, CO₂, O₂, HC, dan udara berlebih (*excess air*) dari gas buang. *Stargas analyzer* telah memiliki sistem kalibrasi (*auto zero*) sehingga data pengujian lebih akurat dan telah dilengkapi dengan mesin printer untuk mencetak langsung data hasil pengujian.

2.11 Hipotesis

Dari penjelasan dasar teori yang telah diuraikan, maka dapat diambil suatu hipotesis penelitian yaitu dengan semakin bertambahnya kadar *ethanol* pada campuran bahan bakar akan menghasilkan lebih banyak oksigen (O₂) dalam proses pembakaran karena sifat *ethanol* yang merupakan *oxygenated fuel*. Banyaknya kadar O₂ ini dibutuhkan untuk mengikat seluruh karbon (C) dan menghasilkan karbondioksida (CO₂) pada gas buang. Semakin tinggi kadar CO₂ maka proses pembakaran menjadi lebih sempurna dan akan menurunkan emisi kadar karbonmonoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) pada gas buang.

